

华北古元古代末裂解事件

——来自内蒙古大青山地区安山岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄的证据

郭俊^{1,2}, 马富财^{1,2}, 杨文¹, 程俊¹, 成林强¹, 郭雪峰¹

GUO Jun^{1,2}, MA Fucui^{1,2}, YANG Wen¹, CHENG Jun¹, CHENG Linqiang¹, GUO Xuefeng¹

1. 陕西区域地质矿产研究院, 陕西 咸阳 712000;

2. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083

1. *Academy of Regional Geological Survey and Mineral Resources Exploration of Shaanxi, Xi'an 712000, Shaanxi, China;*

2. *School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China*

摘要:在内蒙古大青山地区1:5万矿产资源调查中,采用LA-ICP-MS锆石U-Pb同位素测年,在一套侏罗纪火山岩中获得锆石U-Pb年龄加权平均值为 $1863\pm 10\text{Ma}$ 。经野外实测,认为其被上二叠统脑包沟组不整合覆盖。结合岩石主量、稀土和微量元素测试结果进行构造环境分析,认为其为陆内裂谷环境的产物,反映了华北古元古代末—中元古代多期裂谷事件中的一次裂解事件,对华北古元古代末多期裂谷事件的研究具有重要意义,为华北克拉通进入地台型演化的时间提供了重要依据。

关键词:LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄;多期裂谷事件;华北克拉通;大青山地区;内蒙古

中图分类号:P534.3;P542.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2017)02/03-0314-07

Guo J, Ma F C, Yang W, Cheng J, Cheng L Q, Guo X F. Late Paleoproterozoic breakup events of North China: Evidence from LA-ICP-MS zircon U-Pb ages of basaltic andesite from the Daqingshan area in Inner Mongolia. *Geological Bulletin of China*, 2017, 36(2/3):314-320

Abstract: During the 1:50000 regional geological survey in Daqingshan area of Inner Mongolia, the authors used LA-ICP-MS zircon U-Th-Pb isotopic dating method and obtained weighted average zircon U-Pb age of $1863\pm 10\text{Ma}$ from the Jurassic volcanic rock. The contact relation is considered to be unconformably covered by Upper Permian Naobaogou Formation, as shown by field survey. According to the major, trace and rare earth elements analytical results of the rock, the basaltic andesite was formed in an intra-continental rift. This was a breakup event between multi-stage rifting in the Late Paleoproterozoic to Neoproterozoic in North China. It is of great significance for studying multi-stage rifting and provides an important basis for the North China Craton (NCC) evolution as a stable platform or para-platform.

Key words: LA-ICP-MS zircon U-Pb age; multi-stage rifting; NCC; Daqingshan area; Inner Mongolia

华北克拉通的形成经历了3期重要的地质事件:约2.7Ga主要的陆核生长、约2.5Ga克拉通化事件和2.0~1.8Ga克拉通的最终形成^[1-5]。通过对华北陆块北缘大青山地区地质建造及构造的研究认为,华北陆块经过了新太古代晚期的构造运动,刚性地壳形成,在古元古代初期地壳处于稳定发展时期,

沉积了滨浅海环境碎屑岩,但沉积作用范围有限,时间短暂;中、晚期全面褶皱回返,并伴随大规模岩浆活动和区域动力热流变质作用,形成了统一的华北地台变质基底。古元古代末—中元古代初,南北向挤压转换为南北向伸展作用,东西向大规模断裂及裂陷槽(渣尔泰山裂陷槽)形成。至此,华北板块

收稿日期:2015-11-19;修订日期:2015-12-10

资助项目:内蒙古自治区地质勘查基金管理中心项目《内蒙古呼和浩特市庙沟等四幅1:5万区域地质调查》(编号:NMKD2013-23)

作者简介:郭俊(1985-),男,在读硕士生,工程师,从事区域地质调查工作。E-mail:410934590@qq.com

进入稳定盖层发展阶段。本文基于 1:5 万庙沟等四幅矿调项目^①在内蒙古大青山地区获得的安山岩锆石 U-Pb 年龄,通过对该火山岩主量、稀土和微量元素测试结果进行构造环境判别,认为其为古元古代末陆内裂谷环境的产物,记录了华北古元古代末—中元古代初多期裂谷事件中的一次裂解事件。

1 区域地质背景

研究区大地构造位置处于华北陆块北缘阴山断隆。区内早前寒武世结晶基底主要由一套高角闪岩相—麻粒岩相的片麻岩、大理岩、石英岩、麻粒岩等组合,以及侵入其中的新太古代片麻状紫苏英云闪长岩、古元古代变质石英闪长岩等组成,其上沉积了一套古生代—中生代的陆相碎屑岩(图 1)。

本次采样位置见图 1, GPS 点为 40°58'19"N、111°06'39"E, H1724m。

2 分析方法

安山岩的定年样品经核工业二〇三研究所常规粉碎后,用浮选和电磁选法进行锆石分选,在双目镜下挑选出形态较完整、无裂痕和包裹体的锆石

作为测定对象。将分选出来的锆石经无色透明的环氧树脂固定并待其充分固化后,通过抛光使锆石露出一个平面,最后在该平面上对锆石进行可见光、阴极发光(CL)显微照相及 LA-ICP-MS U-Th-Pb 同位素年龄测定。分析测试仪器,数据处理方法、程序等详见参考文献[6]。

计算年龄谐和度时,对年龄大于 1000Ma 的数据进行 $100 \times (^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \text{ 年龄}) / (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \text{ 年龄})$ 处理,对年龄小于 1000Ma 的数据进行 $100 \times (^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} \text{ 年龄}) / (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \text{ 年龄})$ 处理,普通铅校正应用 ^{208}Pb 校正法^[7],利用 NIST612 玻璃标样作为外标计算锆石样品的 Pb、U、Th 含量。岩石主量、稀土及微量元素测试工作由核工业二〇三研究所用荷兰帕纳科制造的 Axios_X 射线光谱仪完成。

3 结果分析

3.1 阴极发光特征

安山岩样品中的锆石多呈半透明状,形态以长柱状和复四方双锥状为主,部分破裂残缺,大小在 80~120×100~200 μm 之间,长宽比介于 2.0~4.0 之间。阴极发光图像显示,锆石岩浆韵律环带清晰,

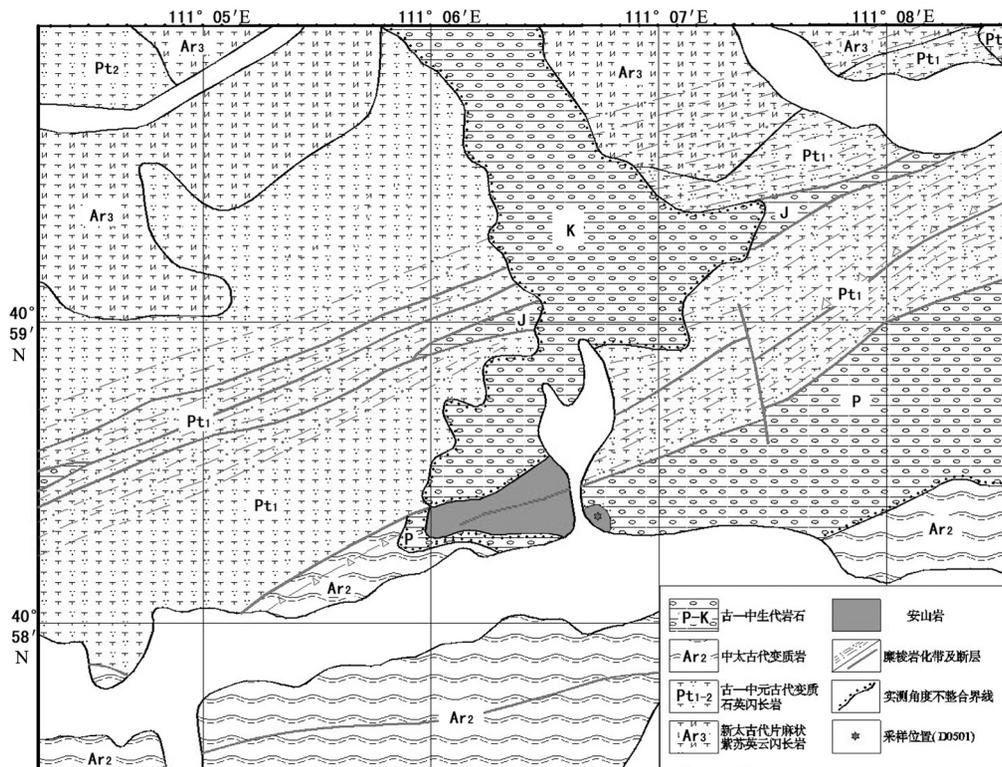


图 1 研究区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of the study area

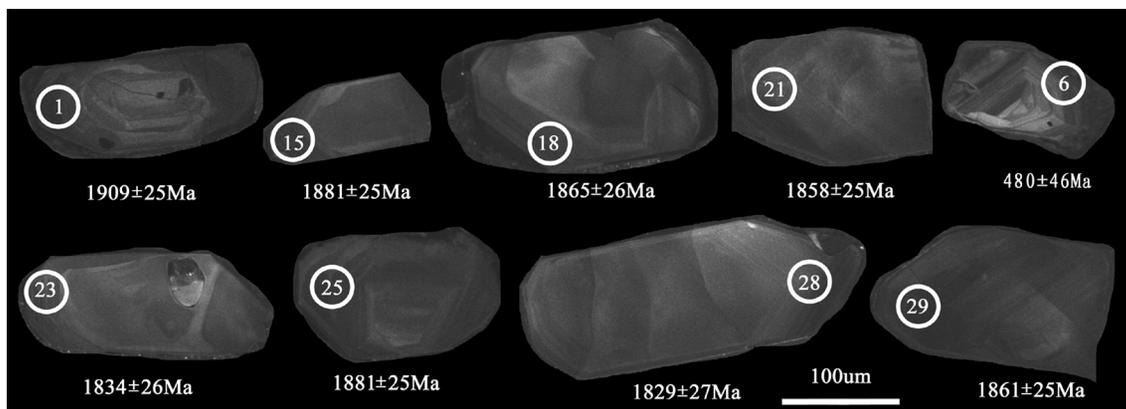


图2 安山岩部分锆石阴极发光(CL)图像

Fig. 2 CL images of zircons from the basaltic andesite

锆石中的Th/U值介于0.3044~0.7157之间,具典型的岩浆锆石特征(图2)。

3.2 锆石U-Pb年龄

对安山岩样品中29个锆石进行U-Pb定年分析,结果见表1。表中列出了所有的测试数据,其中标注删除线的点号03、09、30的谐和度大于110,标注删除线的点号06的谐和度(102)较好,但其锆石阴极发光特征具明显的增生环带,与后期热变质作用有关。打点位置位于该增生环带附近,U-Pb年龄代表其增生年龄,在本次统计分析中均未被采用。其余分析点均位于U-Pb谐和线上或其附

近一个很小的区域内,大多具有很好的谐和性。 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄变化于1829~1947Ma之间,对该组数据进行拟合,产生的不一致曲线的上交点年龄为 $1879\pm 26\text{Ma}$ (图3-a),其 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄加权平均值为 $1863\pm 10\text{Ma}$ (MSWD=0.61)(图3-b)。

3.3 岩石主量、稀土及微量元素分析

岩石主量、稀土及微量元素分析结果见表2。安山岩主量、稀土元素匹配11件微量样品,对该微量样品均进行薄片匹配,鉴定结果均显示为安山岩,一定程度上保证了数据的合理性;对数据进行投图(图4),数据区位于板内玄武岩(WPB)范围。

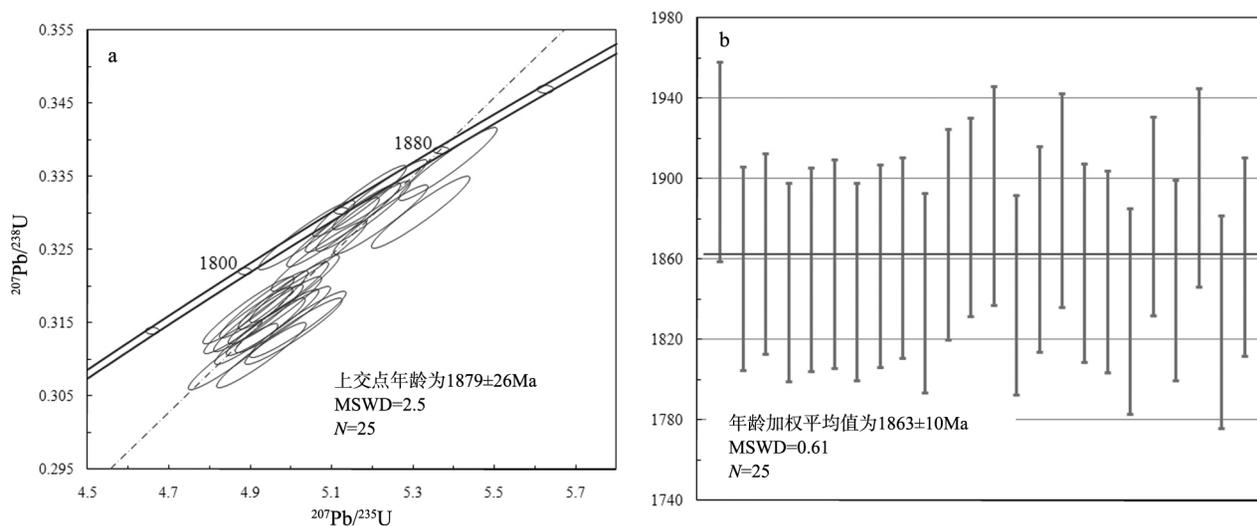
图3 安山岩LA-ICP-MS锆石U-Pb谐和图(a)和 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄加权平均值(b)Fig. 3 Zircon LA-ICP-MS U-Pb concordia diagram (a) and weighted mean $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age (b) of the basaltic andesite

表 1 安山岩(D0501)LA-ICP-MS 锆石 U-Th-Pb 同位素分析结果

Table 1 U-Th-Pb composition of zircons from basaltic andesite (D0501) measured by LA-ICP-MS

样品号	含量/ 10^{-6}				同位素比值								年龄/Ma				谱和度		
	Pb	U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1σ	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ
01	48	135	0.3302	0.0033	5.318	0.080	0.1168	0.0016	0.1098	0.0010	0.4246	0.0053	1839	18	1872	28	1909	25	104
02	32	93	0.3294	0.0031	5.153	0.077	0.1134	0.0016	0.1124	0.0008	0.3237	0.0045	1835	18	1845	28	1855	25	101
03	23	72	0.2943	0.0029	4.602	0.072	0.1134	0.0016	0.1036	0.0010	0.4427	0.0054	1663	16	1750	27	1855	26	112
04	46	131	0.3296	0.0032	5.177	0.077	0.1139	0.0016	0.1036	0.0006	0.3859	0.0041	1837	18	1849	27	1863	25	101
05	71	199	0.3317	0.0032	5.169	0.076	0.1130	0.0015	0.1084	0.0004	0.4057	0.0035	1847	18	1848	27	1849	25	100
06	15	200	0.0700	0.0007	0.547	0.012	0.0567	0.0012	0.0228	0.0003	0.4979	0.0068	436	4	443	10	480	46	102
07	36	99	0.3241	0.0031	5.069	0.077	0.1134	0.0016	0.0996	0.0005	0.6337	0.0052	1810	18	1831	28	1855	25	102
08	23	64	0.3167	0.0031	4.960	0.076	0.1136	0.0016	0.0912	0.0005	0.7023	0.0137	1774	17	1813	28	1858	26	105
09	38	107	0.3124	0.0030	5.352	0.082	0.1243	0.0018	0.1255	0.0008	0.4535	0.0038	1753	17	1877	29	2018	25	115
10	75	223	0.3156	0.0030	4.919	0.072	0.1130	0.0015	0.0897	0.0004	0.3871	0.0030	1768	17	1806	27	1849	25	105
11	40	118	0.3104	0.0030	4.859	0.073	0.1135	0.0016	0.0856	0.0004	0.5102	0.0041	1743	17	1795	27	1857	25	107
12	44	125	0.3138	0.0030	4.924	0.073	0.1138	0.0016	0.0778	0.0003	0.7157	0.0058	1760	17	1806	27	1861	25	106
13	77	228	0.3175	0.0030	4.934	0.072	0.1127	0.0015	0.0760	0.0002	0.4833	0.0038	1778	17	1808	26	1843	25	104
14	25	73	0.3154	0.0030	4.980	0.077	0.1145	0.0017	0.0760	0.0006	0.5316	0.0042	1767	17	1816	28	1872	26	106
15	53	162	0.3106	0.0029	4.927	0.072	0.1151	0.0016	0.0731	0.0004	0.4487	0.0036	1744	16	1807	26	1881	25	108
16	24	69	0.3139	0.0030	5.007	0.079	0.1157	0.0018	0.0791	0.0006	0.6614	0.0052	1760	17	1820	29	1892	27	107
17	49	148	0.3153	0.0030	4.896	0.072	0.1126	0.0015	0.0702	0.0003	0.4757	0.0038	1767	17	1802	26	1842	25	104
18	27	80	0.3150	0.0030	4.954	0.075	0.1141	0.0016	0.0731	0.0006	0.4089	0.0038	1765	17	1812	27	1865	26	106
20	22	63	0.3148	0.0030	5.017	0.079	0.1156	0.0017	0.0752	0.0005	0.6736	0.0053	1764	17	1822	29	1889	27	107
21	63	187	0.3197	0.0030	5.009	0.073	0.1136	0.0016	0.0777	0.0003	0.4313	0.0034	1788	17	1821	27	1858	25	104
22	42	123	0.3187	0.0030	4.982	0.074	0.1134	0.0016	0.0799	0.0004	0.4771	0.0037	1784	17	1816	27	1854	25	104
23	28	82	0.3167	0.0030	4.896	0.074	0.1121	0.0016	0.0904	0.0006	0.5422	0.0052	1774	17	1802	27	1834	26	103
24	27	73	0.3460	0.0033	5.695	0.088	0.1194	0.0017	0.1138	0.0010	0.4040	0.0036	1915	18	1931	30	1947	26	102
25	51	147	0.3291	0.0031	5.222	0.077	0.1151	0.0016	0.1065	0.0005	0.3318	0.0026	1834	17	1856	27	1881	25	103
26	49	141	0.3274	0.0031	5.104	0.075	0.1131	0.0016	0.1053	0.0005	0.3386	0.0027	1826	17	1837	27	1850	25	101
27	61	168	0.3367	0.0033	5.385	0.080	0.1160	0.0016	0.1227	0.0007	0.3250	0.0026	1871	18	1883	28	1896	25	101
28	22	61	0.3270	0.0031	5.039	0.078	0.1118	0.0016	0.1099	0.0008	0.4327	0.0034	1824	17	1826	28	1829	27	100
29	75	211	0.3325	0.0032	5.218	0.076	0.1138	0.0016	0.1179	0.0004	0.3396	0.0027	1851	18	1856	27	1861	25	101
30	28	89	0.2843	0.0031	4.454	0.071	0.1137	0.0016	0.1311	0.0008	0.3044	0.0028	1613	17	1723	27	1859	26	115

注:标注删除线的点号在本次统计分析中均未被采用,具体原因见文中描述

4 讨论

4.1 样品采集及岩性特征

在研究区小面积火山岩(图1安山岩东段部分)上进行1:1000地质剖面测量时,共采集11件微量元素样品,其中2号样品为本次定年样品,同时采集主量、稀土元素测试样品,其镜下定名为铁褐色杏仁状磁铁安山岩,岩石具少斑结构,基质具交织结构,

块状、杏仁构造。斑晶(1%~2%)少量出现,由斜长石(个别)、角闪石(1%)、辉石(个别)组成。斜长石呈较自形粒状,可见聚片双晶,部分被方解石交代,颗粒大小0.05mm×0.2mm;角闪石呈柱粒状,无色,具卡氏双晶, $C\wedge Ng'$ =26°左右,属透闪石化,大小为0.1mm×0.5mm;辉石呈柱粒状,具辉石式解理,大小同角闪石。基质(>80%)主要由斜长石(75%~70%)、绿泥石、绿帘石(5%~10%)组成。斜长石呈较

表2 安山岩主量、稀土及微量元素分析结果
Table 2 Analytical results of major elements, REE and trace elements of the basaltic andesite

主量元素	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	TFe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	CO ₂	LOI(烧失量)			
D0501/2	54.96	1.58	15.23	6.88	0.98	7.97	0.08	1.89	5.51	4.67	3.44	0.89	0.29	1.59	3.18			
稀土元素	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y			
D0501/2	78.9	159	17.7	6.36	9.84	2.26	8.87	0.69	3.44	0.45	1.07	0.13	1.05	0.11	15.0			
微量元素	Rb	Ba	Th	U	K	Ta	Nb	Sr	P	Zr	Hf	Ti	Sc	V	Cr	Co	Ni	Sb
D0501/1	49.9	1810	6.61	1.37	2.34	2.75	19.4	917	3862	440	2.35	9781	9.9	89.2	67.5	17.5	27.3	0.16
D0501/2	62.6	1959	5.56	1.42	2.11	4.17	24.5	1540	3665	433	3.87	9173	9.6	84.6	52.8	18.9	29.7	0.27
D0501/3	65.0	2087	8.14	1.12	2.71	4.26	26.0	1140	4176	454	7.28	10318	7.4	105	63.8	17.5	27.4	0.10
D0501/4	51.2	2304	4.52	1.23	2.55	4.70	14.6	1501	4286	453	3.41	10012	12.0	98.8	63.4	20.9	32.5	0.12
D0501/5	52.8	2275	4.88	1.14	2.88	4.02	18.9	799	3361	409	4.36	9859	7.5	59.0	47.2	14.7	21.5	0.14
D0501/6	62.6	1912	6.70	1.50	2.56	5.75	23.6	1295	3551	467	7.37	9625	10.9	58.0	57.8	22.3	31.1	0.15
D0501/7	59.3	2196	7.44	1.28	2.55	3.54	13.9	1244	3532	447	2.81	9029	11.1	91.7	51.7	20.0	29.3	0.16
D0501/8	62.4	2143	7.49	1.44	2.62	3.05	20.2	1195	3543	438	5.75	9113	9.1	86.2	53.2	18.0	28.7	0.17
D0501/9	68.6	1971	6.90	1.57	2.76	3.50	25.2	987	3449	439	6.99	9749	9.0	88.9	57.8	19.2	29.4	0.13
D0501/10	67.4	2010	6.63	1.42	2.74	2.67	22.8	1109	3442	436	6.01	9005	11.6	87.4	53.8	19.7	30.2	0.091
D0501/11	73.2	2512	5.74	1.63	3.11	2.20	18.7	1118	3550	454	5.56	9458	11.1	93.3	52.8	16.6	26.5	0.17

注:主量元素含量单位为%,微量、稀土元素为10⁻⁶

自形板条状,大致平行定向断续排列,形成交织结构,其板条间分布较多绿泥石、绿帘石、磁铁矿,绿泥石、绿帘石为暗色矿物所变,晶粒大小为0.03~0.15mm;磁铁矿(10%~15%)呈微粒状遍布于岩石

中,大小为0.02~0.05mm。杏仁呈圆形和椭圆形,为石英、方解石充填,大小为0.1~2mm。

4.2 形成时代及构造环境

对本次研究的安山岩,前人研究^②认为,其为一

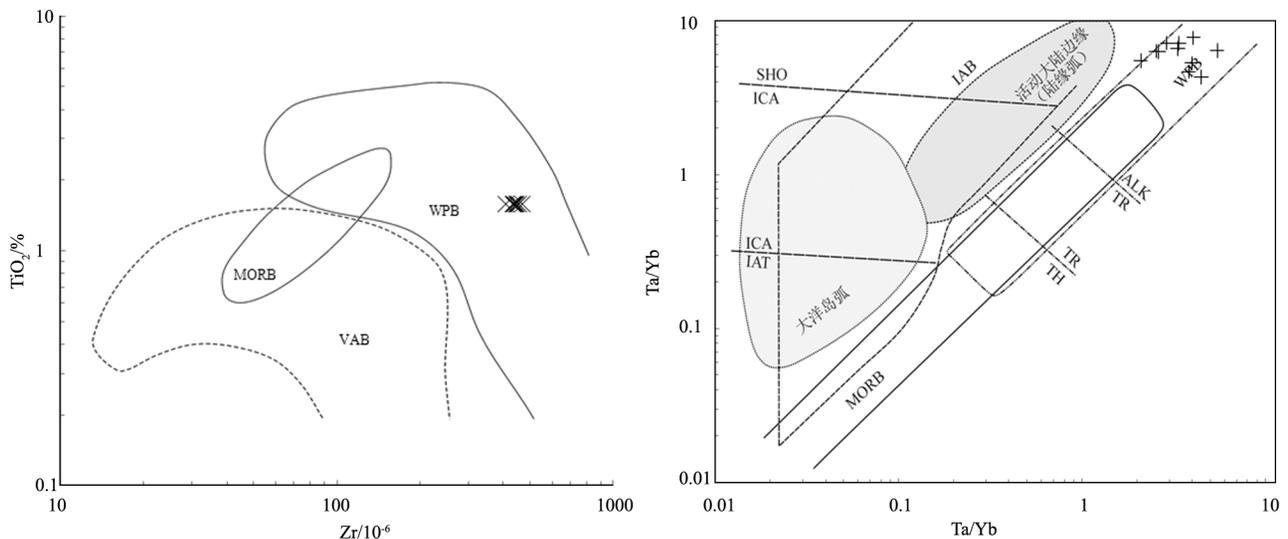


图4 安山岩构造环境判别图解^[8-9]

Fig. 4 Tectonic setting discrimination diagrams of the basaltic andesite

VAB—岛弧玄武岩;WPB—板内玄武岩;MORB—洋中脊玄武岩;
IAT—岛弧拉斑系列;ICA—岛弧钙碱系列;SHO—岛弧橄榄玄粗岩系列;
TH—拉斑玄武岩;TR—过渡玄武岩;ALK—碱性玄武岩



图5 紫灰色安山质角砾熔岩(a)安山岩与上二叠统脑包沟组野外接触露头(b)

Fig. 5 Andesitic breccia-lava (a) and outcrop between the andesitic breccia-lava and Upper Permian Naobaogou Formation (b)

套次火山岩,并侵入于上二叠统脑包沟组,时代为侏罗纪,未给出明确时代来源;内蒙古自治区地质调查院^③认为,其为一套晚侏罗世火山岩,不整合覆盖于上二叠统脑包沟组、古元古代变质石英闪长岩之上,被下白垩统固阳组不整合覆盖,并将区域上零星出露的该套火山岩统称为“小东沟火山岩”。

本次在研究区大面积火山岩(图1安山岩西段部分)上进行1:5000追索路线测量时,在灰色杏仁状安山岩中发现有紫灰色火山角砾熔岩夹层(图5-a),该岩石具火山角砾结构,块状构造,角砾以灰色玄武质安山岩为主,基质主要为灰紫色火山熔岩,说明其为一套火山岩而非侵入岩。在研究区小面积火山岩(图1安山岩东段部分)上进行1:1000实测地质剖面测量时发现,灰色杏仁状安山岩与脑包沟组接触处覆盖较严重,只在1处发现两者接触露头,露头尺度仅20cm左右(图5-b);在脑包沟组砾岩中,见有灰色安山岩砾石,沿接触面附近,安山岩砾石含量较多,砾级较大,砾岩基质也多以灰色玄武安山质为主,远离接触面,安山岩砾石含量减少,砾级趋小,砾岩基质趋于正常的碎屑沉积物;且1:1万地质草测时发现,该成分的砾石仅见于安山岩出露区附近;同时安山岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为 1863 ± 10 Ma,表明其活动时代应为古元古代末,也反映该套火山岩并非侏罗系的产物,而是华北克拉通北部边缘裂谷盆地——内蒙古狼山-白云鄂博中元古系裂谷盆地的东延部分。综上认为,脑包沟

组不整合覆盖于灰色杏仁状安山岩之上(图6)。

华北元古宙活动带的演化结束于1.8Ga前^[10],U-Pb锆石年龄说明安山岩活动开始于这一时期。结合图4分析,当时华北正处于多期裂谷演化阶段,安山岩为陆内裂谷环境的产物。

4.3 地质意义

华北克拉通从1800Ma左右区域变质事件之后,进入地台型演化阶段,形成南、北、西3个没有完全连接的裂陷槽和北缘、西缘2个裂谷带。对华北克拉通进入地台型演化的具体时间,一般认为熊耳裂陷槽的形成最早,起始时间以约1780Ma熊耳群火山岩为代表^[10-11],燕辽裂陷槽中没有此期火山岩^[10],团子山组有约1680Ma的火山岩^[12],大红裕组双模式火山岩与熊耳裂陷槽中的汝阳群大致相

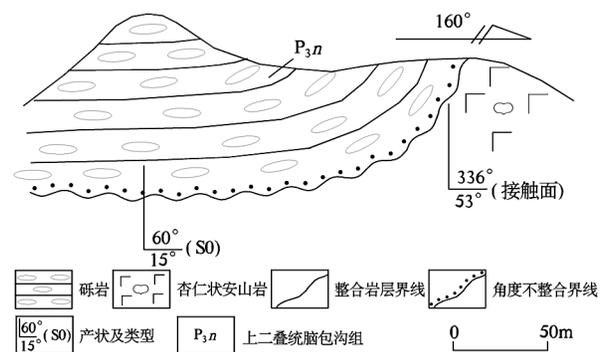


图6 脑包沟组(P_{3n})实测剖面简图

Fig. 6 The measured profile sketch of Naobaogou Formation

当^[10]。本次在华北北缘大青山地区发现的1869Ma安山岩,为陆内裂谷环境的产物,是华北古元古代末陆内伸展构造活动及其裂谷形式的物质体现,代表华北克拉通古元古代末—新元古代多期裂谷事件中的一次裂解事件,对华北克拉通古元古代末多期裂谷事件的研究具有重要意义,为华北克拉通进入地台型演化的时间提供了重要依据。

5 结 论

(1)研究区灰色杏仁状安山岩为一套火山岩,其在后期地壳演化阶段被二叠系上统脑包沟组不整合覆盖。

(2)内蒙古大青山地区古元古代末安山岩的发现,进一步缩小了华北克拉通最终的形成时限,并对华北克拉通进入地台型演化的时间提供了重要依据。

参考文献

- [1]程裕洪.中国区域地质概论[M].北京:地质出版社,1994.
- [2]赵宗溥.中朝准地台前寒武纪地壳演化[M].北京:科学出版社,1993.
- [3]沈其韩,许惠芬,张宗清,等.中国早前寒武纪麻粒岩[M].北京:地质出版社,1992.
- [4]白瑾,黄学元,王惠初,等.中国早前寒武纪地壳演化[M].北京:地质出版社,1996.
- [5]翟明国,卞爱国.华北克拉通新太古代末超大陆拼合及古元古代末—中元古代裂解[J].中国科学(D辑),2000,30:129-137.
- [6]郭俊,马富财,杨文,等.内蒙古大青山地区英安岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄[J].地质通报,2016,35(9):1517-1521.
- [7]Anderson T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ²⁰⁴Pb[J].Chemical Geology,2002,192(1/2):59-79.
- [8]Pearce J A, Cann J R. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses[J]. Earth and Planetary Science Letters,1973,19:290-300.
- [9]Pearce J A. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries[C]//Thorps R S. Andesites. Chichester:Wiley, 1982: 525-548.
- [10]翟明国,胡波,彭澎,等.华北中—新元古代的岩浆作用与多期裂谷事件[J].地学前缘,2014,21(1):100-119.
- [11]赵太平,翟明国,夏斌,等.熊耳群火山岩锆石SHRIMP年代学研究:对华北克拉通盖层发育初始时间的制约[J].科学通报,2004,49(22):2342-2349.
- [12]李怀坤,李惠民,陆松年.长城系团山子组火山岩颗粒锆石U-Pb年龄及其地质意义[J].地球化学,1995,24(1):43-48.
- ①陕西省区域地质矿产研究院.内蒙古自治区呼和浩特市幅庙沟等四幅1:5万区域矿产地质调查.2013.
- ②内蒙古自治区第一区域地质调查队二分队.1:5万庙沟幅、东坡幅区域地质调查报告.1992.
- ③内蒙古自治区地质调查院.内蒙古1:25万呼和浩特市幅(K49C004003)区调修测报告.2013.